

012051314 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 1998-468225/199841

XRAM Acc No: C98-142004

XRXPX Acc No: N98-364920

**Plasma etching method of silicon structure for micromechanical device -  
deposits protective silicon compound layers oxide or nitride by reaction  
of oxygen or nitrogen with silicon compound added to etching gas**

Patent Assignee: BOSCH GMBH ROBERT (BOSC )

Inventor: LAERMER F; SCHILP A

Number of Countries: 021 Number of Patents: 007

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 19706682	A1	19980827	DE 1006682	A	19970220	199841 B
WO 9837577	A1	19980827	WO 98DE421	A	19980213	199841
DE 19706682	C2	19990114	DE 1006682	A	19970220	199906
EP 894338	A1	19990203	EP 98912218	A	19980213	199910
			WO 98DE421	A	19980213	
JP 20000509915	W	20000802	JP 98536145	A	19980213	200042
			WO 98DE421	A	19980213	
KR 2000064946	A	20001106	WO 98DE421	A	19980213	200128
			KR 98708355	A	19981019	
US 6303512	B1	20011016	WO 98DE421	A	19980213	200164
			US 99171516	A	19990429	

Priority Applications (No Type Date): DE 1006682 A 19970220

Patent Details:

Patent No Kind Lan Pg Main IPC Filing Notes

DE 19706682 A1 7 C23F-004/00

WO 9837577 A1 G H01L-021/3065

Designated States (National): JP KR US

Designated States (Regional): AT BE CH DE DK ES FI FR GB GR IE IT LU MC

NL PT SE

DE 19706682 C2 C23F-004/00

EP 894338 A1 G H01L-021/3065 Based on patent WO 9837577

Designated States (Regional): CH DE FR GB LI

JP 20000509915 W 17 H01L-021/3065 Based on patent WO 9837577

KR 2000064946 A H01L-021/3065 Based on patent WO 9837577

US 6303512 B1 H01L-021/3065 Based on patent WO 9837577

Abstract (Basic): DE 19706682 A

In the anisotropic plasma etching of laterally defined structures  
in a silicon substrate, protective silicon compound layers are  
deposited on the structure side walls before and during plasma etching.

Preferably, the protective layers consist of silicon oxide or  
silicon nitride deposited by reaction of oxygen or nitrogen with a  
silicon compound (especially SiF<sub>4</sub>) added to the etching gas (especially  
SF<sub>6</sub> or NF<sub>3</sub>).

USE - Especially in the etching of beams, trenches, combs or  
tongues for silicon micromechanical devices.

ADVANTAGE - The protective layers withstand etching attack by  
plasma-created radicals (especially fluorine radicals) even at room  
temperature thus permitting extremely reliable production of vertical

etched profiles even at low substrate temperatures.

Dwg.2/2

Title Terms: PLASMA; ETCH; METHOD; SILICON; STRUCTURE; DEVICE; DEPOSIT; PROTECT; SILICON; COMPOUND; LAYER; OXIDE; NITRIDE; REACT; OXYGEN; NITROGEN; SILICON; COMPOUND; ADD; ETCH; GAS

Derwent Class: L03; U11; U12

International Patent Class (Main): C23F-004/00; H01L-021/3065

International Patent Class (Additional): C23C-014/06; C23C-016/30; H01L-021/321; H01L-021/3213

File Segment: CPI; EPI

Manual Codes (CPI/A-N): L04-C07D

Manual Codes (EPI/S-X): U11-C07A1; U11-C07D2; U12-B03F

Derwent Registry Numbers: 1791-U

?



(21) Aktenzeichen: 197 06 682.8  
(22) Anmeldetag: 20. 2. 97  
(43) Offenlegungstag: 27. 8. 98

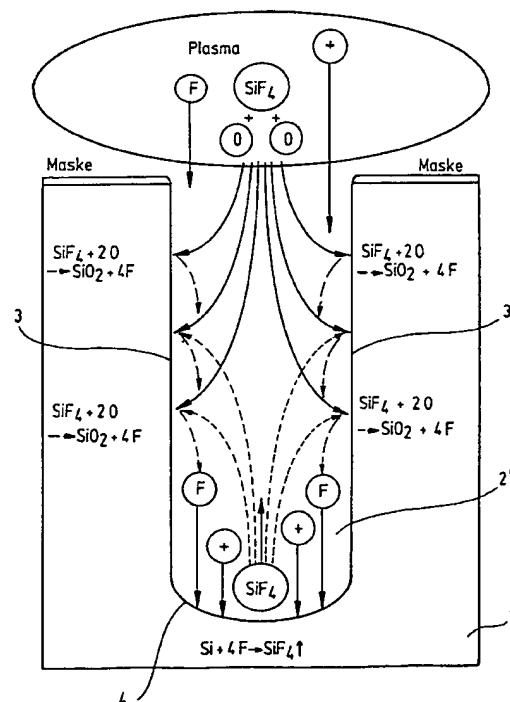
(71) Anmelder: Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE	(72) Erfinder: Laermer, Franz, Dr., 70437 Stuttgart, DE; Schilp, Andrea, 73525 Schwäbisch Gmünd, DE
	(56) Entgegenhaltungen: DE 42 41 453 C2 DE 42 41 045 C1 DE 43 17 623 A1 DE 42 02 447 A1 US 49 43 344 EP 04 14 372 A2

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Anisotropes fluorbasiertes Plasmaätzverfahren für Silicium

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von lateral definierten Strukturen in einem Siliciumsubstrat, wobei vor und/oder während des Plasmaätzens auf den Seitenwänden der lateral definierten Strukturen Schutzschichten aus mindestens einer Siliciumverbindung mit einem zweiten Reaktionspartner abgeschieden werden, die mit der Chemie des Ätzprozesses voll verträglich ist.



## Beschreibung

## Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von lateral definierten Strukturen in einem Siliciumsubstrat gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Das Ausbilden von Strukturen, beispielsweise Ausnehmungen in einem Siliciumsubstrat mittels des Plasmaätzverfahrens ist bekannt. Bekannt ist es auch, beispielsweise für Anwendungen in der Mikromechanik, Fluorverbindungen zum anisotropen Plasmaätzen einzusetzen. Die im Plasma erzeugten Fluorradikale agieren allerdings gegenüber Silicium isotrop, das heißt die laterale Ätzrate entspricht im wesentlichen der vertikalen, was zu entsprechend großen Maskenhinterschneidungen und abgerundeten Profilformen führt. Um mittels eines Ätzverfahrens unter Verwendung von Fluorverbindungen eine vertikale Seitenwand zu erzielen, sind zusätzlich Vorkehrungen zu treffen, um die Seitenwand selektiv vor dem Ätzangriff zu schützen und die Ätzung auf den Strukturgrund, das heißt den Boden der Ausnehmung, zu beschränken. Die Diskriminierung zwischen der Seitenwand der Ausnehmung und dem Ätzgrund kommt durch einen stark gerichteten vertikalen Einfall energetischer Ionen zustande, die neben den chemisch aktiven neutralen Radikalen gleichzeitig im Plasma produziert werden. Die Ionen treffen auf die Oberfläche des Substrates, wobei der Ätzgrund stark und die Seitenwände der Ausnehmung dagegen nur relativ schwach von Ionen bombardiert werden. Es ist bekannt, als Schutzmechanismus für die Seitenwände polymerbildende Gase wie  $\text{CHF}_3$  einzusetzen, die direkt mit dem fluorliefernden Ätzgas gemischt werden. Aus den im Plasma vorhandenen polymerbildenden Monomeren wird eine Polymerschicht auf der Seitenwand abgeschieden, während die im Plasma produzierten Fluorradikale gleichzeitig am infolge Ioneneinfalls polymerfreien Ätzgrund das Siliciumsubstrat ätzen. Als nachteilig erweist sich, daß es im Plasma beziehungsweise auf dem Weg zum zu ätzenden Substrat zu einer intensiven Rekombination zwischen ungesättigten polymerbildenden Monomeren und den Fluorradikalen kommt. Zur Überwindung dieses Nachteils ist es bekannt, die störende Rekombination von ungesättigten polymerbildenden Monomeren und den zur Siliciumätzung fähigen Fluorradikalen zu verhindern, indem das Plasmaätzen in Ätzschritte, bei denen ausschließlich fluorliefernde Gase eingesetzt werden, und Depositionsschritte, bei denen ausschließlich Depositionsgase, wie die polymerbildenden Gase, eingesetzt werden, getrennt wird. Die beiden eingesetzten Gassorten begegnen sich aufgrund der zeitlichen Trennung ihrer Verwendung im Plasma nicht, so daß auch keine nennenswerte Rekombination erfolgen kann.

Es ist auch bekannt, die Seitenwände zu passivieren, indem im Plasma neben den ätzenden Fluorradikalen Sauerstoffradikale beziehungsweise Stickstoffradikale eingesetzt werden, die das Silicium der Seitenwand oberflächlich in Siliciumoxid beziehungsweise Siliciumnitrid umwandeln. Da die dielektrische Oberfläche durch die Fluorradikale besonders stark mit Ionenunterstützung und weniger stark ohne Ionenunterstützung geätzt wird, schreitet die Ätzung im wesentlichen auf dem Ätzgrund voran, während die Seitenwand relativ geschützt bleibt. Ein wesentlicher Nachteil dieses Verfahrens besteht darin, daß die oberflächlich erzeugten Siliciumoxid- beziehungsweise -nitridschichten nur atomare Dicken aufweisen, das heißt im Bereich von 1 nm und darunter liegen. Die oberflächlich erzeugten Siliciumoxid- beziehungsweise Siliciumnitridschichten sind daher nicht sehr dicht und bieten nur unvollständigen Schutz. Dies führt

dazu, daß die Prozeßkontrolle erschwert wird beziehungsweise das Prozeßergebnis durch sekundäre Effekte stark beeinflußt wird. Die Profilformen der auszubildenden Strukturen sind nie vollständig senkrecht, da es immer Seitenwandangriffe und folglich auch Maskenrandhinterschneidungen gibt. Um die Wirksamkeit dieser Passivierung zu steigern, werden kryogene Verfahren eingesetzt, wobei durch Tiefkühlen der Siliciumsubstrate auf Temperaturen bis unter  $-100^\circ\text{C}$  zusätzlich zur Sauerstoffpassivierung oder Stickstoffpassivierung die Seitenwandreaktion ausgefroren wird. Diese Verfahren sind im US-Patent 4,943,344 beschrieben. Als nachteilig erweist sich der hohe apparative Aufwand und die damit verbundenen Kosten, sowie die vergleichsweise geringe Zuverlässigkeit der Komponenten.

## Vorteile der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von lateral definierten Strukturen in einem Siliciumsubstrat, wobei vor und/oder während des Plasmaätzens auf den Seitenwänden der lateral definierten Strukturen Schutzschichten aus mindestens einer Siliciumverbindung abgeschieden werden. In besonders vorteilhafter Ausgestaltung sieht die Erfindung vor, auf den Seitenwänden der lateral definierten Strukturen, insbesondere Balken, Gräben, Kämmen oder Zungen, Siliciumoxid- und/oder Siliciumnitridschichten abzuscheiden. Die Strukturen sind vorzugsweise mit Hilfe einer Ätzmaske definiert. Die erfindungsgemäße Vorgehensweise führt in vorteilhafter Weise zu einer dicken, das heißt einige nm bis einige 10 nm dicken, Siliciumoxid- beziehungsweise Siliciumnitridschicht auf den Seitenwänden der Struktur. Diese Schutzschicht hält bereits bei Zimmertemperatur dem Ätzangriff der im Plasma gebildeten Radikale, insbesondere der vorzugsweise eingesetzten Fluorradikale, stand und ermöglicht damit einen besonders sicheren und störunfallenfreien Ätzvorgang. In vorteilhafter Weise ist das Verfahren auch bei tieferen Substrattemperaturen durchführbar, wobei bei jeder Temperatur eines Substrates ein bestimmter Parameterbereich der Gaszusammensetzung zu verwenden ist, der zum Erhalt senkrechter Ätzprofile führt.

Die Erfindung sieht in vorteilhafter Weise vor, daß das im Plasma Fluorradikale freisetzende Ätzgas Schwefelhexafluorid  $\text{SF}_6$  oder Stickstofftrifluorid  $\text{NF}_3$  gegebenenfalls als Gemisch zusammen mit Argon ist. Dem die Fluorradikale liefernden Ätzgas werden zur Bereitstellung der die Schutzschicht bildenden Komponenten Oxid- und/oder Nitridbildner sowie ein sekundärer Reaktant zugefügt. Als Oxid- beziehungsweise Nitridbildner wird Sauerstoff  $\text{O}_2$ , Distickstoffoxid  $\text{N}_2\text{O}$ , ein anderes Stickoxid  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ , Kohlendioxid  $\text{CO}_2$ , oder Stickstoff  $\text{N}_2$  zugesetzt. In vorteilhafter Weise sieht die Erfindung bei der Verwendung von  $\text{NF}_3$  als Ätzgas vor, keinen gesonderten Nitridbildner einzusetzen, da der bei dem Zerfall des Ätzgases  $\text{NF}_3$  freiwerdende Stickstoff zur Nitritierung dient. Als sekundärer Reaktant, das heißt als die Silicium-Komponente der Schutzschicht liefernde Verbindung, wird vorteilhafterweise Siliciumtetrafluorid  $\text{SiF}_4$  eingesetzt. Aus dem sekundären Reaktant, also vorzugsweise  $\text{SiF}_4$ , und dem aus dem Oxid- oder Nitridbildner stammenden Reaktionspartner Sauerstoff beziehungsweise Stickstoff wird erfindungsgemäß auf der Seitenwand der Struktur das Reaktionsprodukt  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_x\text{N}_y$  oder eine Mischung aus  $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$  abgeschieden. Der sekundäre Reaktant  $\text{SiF}_4$  reagiert nicht mit den aus dem  $\text{SF}_6$ -Zerfall stammenden Fluorradikalen, sondern ausschließlich mit Sauerstoff beziehungsweise Stickstoff, wobei sogar zusätzlich Fluorradikale freigesetzt werden ( $\text{SiF}_4 + \text{O}_2 \leftrightarrow \text{SiO}_2 + 4\text{F}^*; \text{SiF}_4 + x\text{O}^* \leftrightarrow \text{SiO}_{x-4} + x\text{F}^*$ ).

Selbstverständlich ist es auch möglich, das erfindungsgemäße Plasmaätzen in voneinander getrennte Ätz- und Abscheideschritte zu trennen, wobei während des Ätzschrittes lediglich geätzt und während des Abscheideschrittes das vorstehend beschriebene Abscheiden der Siliciumverbindung durchgeführt wird. In besonders bevorzugter Weise werden die Ätzschritte alternierend mit den Abscheideschritten durchgeführt.

Die Affinität der erfindungsgemäß bevorzugten Oxidbeziehungsweise Nitridbildner gegenüber dem sekundären Reaktanten, also vorzugsweise  $\text{SiF}_4$ , ist gering genug, daß in der Gasphase insbesondere unter den erfindungsgemäß bevorzugten niedrigen Prozeßdrücken und den erfindungsgemäß vorgesehenen Verfahrensbedingungen, insbesondere dem Überschuß an freien Fluorradikalen im Plasma, selbst unter hochdichter Plasmaanregung keine nennenswerte Umsetzung zwischen den Oxid- beziehungsweise Nitridbildnern und dem sekundären Reaktanten stattfindet. Dadurch wird in vorteilhafter Weise vermieden, daß eine Reaktion beispielsweise eines Oxidbildners mit  $\text{SiF}_4$  zu  $\text{SiO}_2$  bereits in der Gasphase erfolgt, wobei der gebildete Feststoff auf die Oberfläche des Substrats herab fallen würde und dort eine Mikromaskierung mit Ätzgrundrauhigkeiten beziehungsweise Nadelbildung bewirken kann. Der erfindungsgemäß vorgesehene niedrige Prozeßdruck bewirkt durch große freie Weglängen eine Reduktion der Umsetzungswahrscheinlichkeit in der Gasphase sowie eine Reduktion von Mikroloading-Effekten bei der Siliciumätzung in schmalen Trenchgräben.

Die Erfindung führt also in vorteilhafter Weise zur Abscheidung von ätzbeständigen Siliciumverbindungen an den Seitenwänden der lateral definierten Strukturen, die als Schutzschicht wirken. Im Verlauf des erfindungsgemäßen Verfahrens treffen kontinuierlich aktivierte Siliciumfluoridverbindungen und Sauerstoff- beziehungsweise Stickstoffradikale sowie ein hoher Anteil an Fluorradikalen auf der Siliciumoberfläche auf. Dabei wird eine dicke dielektrische Schicht dort ausgebildet, wo die in vorteilhafter Weise erfindungsgemäß vorgesehene intensive Ioneneinwirkung nicht erfolgt, das heißt auf den Seitenwänden. Auf ionenbombardierten Flächen, das heißt dem Boden der Strukturen, insbesondere Ausnahmen oder dem Ätzgrund dominiert der Einfluß der Fluorradikale und die Ätzreaktion, so daß das Siliciumsubstrat dort abgetragen wird. Die Erfindung stellt demgemäß ein Passivierungssystem für die Seitenwände lateral definierter Strukturen bereit, das ohne besondere Zusatzmaßnahmen mit den reaktiven Fluorradikalen verträglich ist.

Die Erfindung sieht in besonders vorteilhafter Ausgestaltung vor, das Verfahren mittels einer hochdichten Plasmaquelle, zum Beispiel PIE (Propagation Ion Etching), ICP (Inductive Coupled Plasma), ECR (Electron Cyclotron Resonance) durchzuführen, wodurch es ermöglicht wird, hohe Flüsse von Ätz- und Passivierspezies sowie von Ionen mit niedriger Energie einzusetzen. Dadurch wird eine hohe Ätzrate und Maskenselektivität erreicht, was letztendlich zu einem hohen Siliciumabtrag bei gleichzeitig geringem Maskenmaterialabtrag führt.

Die Erfindung sieht in vorteilhafter Weise vor, den Durchbruch von möglicherweise auf dem Ätzgrund abgeschiedenen Siliciumverbindungen, vorzugsweise  $\text{SiO}_2$ , zu beschleunigen, indem sogenannte  $\text{SiO}_2$ -verzehrende Gase wie  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{C}_4\text{F}_8$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$  oder  $\text{C}_3\text{F}_6$  dem Gasgemisch zugesetzt werden. Die  $\text{SiO}_2$ -verzehrenden Gase ätzen aufgrund ihres Kohlenstoffgehaltes unter gleichzeitiger Ioneneinwirkung  $\text{SiO}_2$  besonders gut. Auf diese Weise werden ein sauberer Ätzgrund und noch höhere Ätzraten erreicht. Überdies wird eine Nadelbildung auf dem Ätzgrund vermieden. Diese

Scavenger-Gase (Scavenger = oxidverzehrend) können kontinuierlich dem Plasma als konstante Beimischung zugesetzt werden, oder aber von Zeit zu Zeit oder periodisch über eine kurze Zeit eingelassen werden, um während eines solchen 5 Flashes Oxidverunreinigungen des Ätzgrundes abzutragen.

Die Erfindung sieht in besonders vorteilhafter Weise vor, daß das Plasmaätzen unter gleichzeitiger Ioneneinstrahlung durchgeführt wird, wobei die eingesetzte Ionenergie vorzugsweise bei 1 bis 100 eV, insbesondere bei 30 bis 50 eV 10 liegt.

Vorzugsweise weisen die für das Plasmaätzen eingesetzten Medien Gasflüsse von 10 bis 200 sccm auf bei einem Prozeßdruck von 1 bis 50 µbar.

Die Erfindung sieht in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung vor, die Plasmaerzeugung durch Mikrowelleninstrahlung beziehungsweise Hochfrequenzinstrahlung bei Leistungen von 500 bis 2000 W durchzuführen.

Die Erfindung sieht insbesondere vor, die Ionendichte, die Ionenergie und die Relation geladener zu ungeladener 20 Teilchen unabhängig voneinander zu regeln.

In besonders vorteilhafter Ausgestaltung sieht die Erfindung vor, den Gasfluß für  $\text{SF}_6$  bei 20 bis 200 sccm einzustellen.

Die Erfindung sieht auch vor, den Gasfluß für  $\text{SiF}_4$  bei 10 25 bis 50 sccm einzustellen.

Die Erfindung sieht in einer weiteren Ausgestaltung vor, den Gasfluß für Sauerstoff bei 10 bis 100 sccm und den Gasfluß für die  $\text{SiO}_2$ -verzehrenden Gase, insbesondere  $\text{C}_4\text{F}_8$ , bei kontinuierlichem Gasfluß bei 2 bis 10 sccm einzustellen.

Bei gepulstem Scavenger-Gasfluß kann dessen Fluß höher gewählt werden, beispielsweise 30 bis 60 sccm  $\text{C}_4\text{F}_8$  alle 30 bis 60 Sekunden einmal über 5 Sekunden Dauer. Ein Pulsen des Scavenger Flusses führt in den Prozeß kurze Reinigungsschritte ein, die bei entsprechend höherem Fluß eine

35 kurzzeitige, intensive Reinigungswirkung entfalten, ohne die Profilform störend zu beeinflussen. Da der Scavenger nur kurzzeitig anwesend ist, kann er die Ätzprofile nicht nachteilig beeinflussen, aber trotzdem den Ätzgrund gut von Verunreinigungen befreien. Auf dem Ätzgrund werden 40 durch intensiven Ioneneinfall Verunreinigungen rascher abgetragen, als der Scavenger den Durchbruch durch das Seitenwand(schutz)oxid schafft.

Die Erfindung sieht in einer weiteren Ausgestaltung vor, das zur Ionbeschleunigung an der Substratelektrode eine Hochfrequenzleistung von 5 bis 50 W bereitgestellt wird, was Beschleunigungsspannungen von 20 bis 150 V entspricht.

#### Zeichnungen

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen Längsschnitt durch ein Siliciumsubstrat mit 55 lateralen Strukturen und

Fig. 2 eine Darstellung des Prinzips des Ätzprozesses.

Die Fig. 1 zeigt eine mittels des erfindungsgemäßen Plasmaätzverfahrens hergestellte Struktur in einem Siliciumsubstrat.

60 Sie zeigt ein Substrat 1 mit einer durch die Seitenwände 3 definierten Ausnehmung 2. Dargestellt ist ferner der Ätzgrund 4 sowie eine schmalere Ausnehmung 2'.

Das Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von lateral definierten Ausnehmungen 2, 2' in einem Siliciumsubstrat 1 65 wurde mit dem Ätzgas  $\text{SF}_6$  und einem Gasfluß von 75 sccm ( $\text{SF}_6$ ) durchgeführt. Als Oxidbildner wurde  $\text{O}_2$  mit einem Gasfluß von 38 sccm und als sekundärer Reaktant  $\text{SiF}_4$  mit einem Gasfluß von 38 sccm eingesetzt. Das Abscheiden der

Schutzschicht, also der Siliciumverbindung  $\text{SiO}_2$ , geschah gleichzeitig mit dem Plasmaätzen von selbst. Die Temperatur des Substrats 1 lag bei 10°C. Der Prozeßdruck lag bei 20  $\mu\text{bar}$  und die eingesetzte PIE-Quelle lieferte eine Mikrowellenleistung von 650 W (2,45 GHz). Zur Erzeugung einer Ionenbeschleunigungsspannung wurde an der Substratelektrode eine Hochfrequenzleistung von 5 W (13,56 MHz) eingesetzt, wobei die Ionenbeschleunigungsspannung (DC-bias) 40 V betrug.

Die Fig. 1 zeigt, daß mittels der vorstehend genannten Verfahrensbedingungen in vorteilhafter Weise senkrechte Seitenwände 3 der Ausnehmungen 2, 2' im Substrat 1 erzeugt wurden. In besonders vorteilhafter Weise ergeben sich ausgesprochen geringe Ätzratenunterschiede zwischen breiten Ausnehmungen 2 und schmaleren Ausnehmungen 2'. 10

In der Fig. 2 ist das Prinzip des Ätzprozesses dargestellt. Gleiche Teile sind mit denselben Bezugsziffern wie in Fig. 1 versehen. Es ist ein Substrat 1 dargestellt, in das durch den Ätzprozeß eine laterale Ausnehmung 2' eingebracht wird. Für die Seitenwandpassivierung werden in das Plasma, 20 zusätzlich zu den in diesem ausgebildeten Fluorradikalen und positiv geladenen Ionen Siliciumtetrafluorid  $\text{SiF}_4$  und Sauerstoff eingeführt, die eine fluorverträgliche Seitenwandpassivierung gewährleisten. Am Ätzgrund 4 findet durch Ionenunterstützung die Umsetzung von Silicium und Fluorradikalen zu flüchtigem Siliciumtetrafluorid statt, welches den Ätzgrund verläßt, was die erwünschte Ätzreaktion darstellt. Die Ätzung erfolgt am Ätzgrund 4 spontan und benötigt also 25 an sich keine Ionenunterstützung. Aufgrund des starken Ioneneneinfalls wird dort jedoch die Bildung von die Ätzung 30 hemmenden Siliciumoxiden oder Oxyfluoriden unterdrückt.

An den Seitenwänden 3, die nur einem vergleichsweise geringen Ionenbombardement ausgesetzt sind, kann dagegen eine Reaktion von Siliciumtetrafluorid mit Sauerstoff zu einem die Ätzung hemmenden Siliciumoxid oder -oxyfluorid erfolgen, das sich als Film auf den Seitenwänden 3 abscheidet. Zu einem geringen Teil wird dabei das auf dem Ätzgrund gebildete Siliciumtetrafluorid, das den Trenchgraben verlassen will, in einer Rückreaktion zur Filmbildung auf den Seitenwänden 3 verbraucht, was durch die gestrichelten Linien in Fig. 2 angedeutet ist. Der wesentliche Teil des zum Seitenwandfilmaufbau benötigten Siliciumtetrafluorids wird jedoch aus der Plasmachemie geliefert, das heißt Siliciumtetrafluorid wird als das wesentliche Passiviergas zusammen mit Sauerstoff ins Plasma eingeleitet, 40 was in der Fig. 2 durch die durchgezogenen Linien gekennzeichnet ist. Wie man in Fig. 2 erkennen kann, wird bei dieser Filmbildungsreaktion aus  $\text{SiF}_4$  sogar zusätzlich Fluor freigesetzt, das zusätzlich die Ätzreaktion auf dem Ätzgrund unterstützen kann. Deswegen ist das Microloading beziehungsweise der RIE-lag, das heißt die Abnahme der Ätzrate in schmalen Trenches verglichen mit breiten, bei dieser Chemie relativ moderat ausgeprägt, da sich im Trench durch die Wandfilmbildungsreaktion zusätzliches Fluor bildet. 45

In einem weiteren Ausführungsbeispiel wurden unter 50 ICP-Anregungsbedingungen (ICP: Induktiv gekoppeltes Plasma) mit Hochfrequenzanregung die nachfolgenden vorteilhaften Parameter gefunden. Die Gasflüsse betrugen 40 sccm  $\text{SF}_6$ , 60 sccm  $\text{O}_2$ , 21 sccm  $\text{SiF}_4$  und 5 sccm  $\text{C}_4\text{F}_8$  als konstanter Gasfluß. Der Druck betrug 15 mTorr = 20  $\mu\text{bar}$  55 und die ICP-Hochfrequenzleistung 800 W bei 13,56 MHz, sowie die Substratleistung (Bias-Power) 10 bis 15 W bei 13,56 MHz. Die Biasspannung wurde auf 40 bis 100 V eingestellt. Bei einem gepulsten  $\text{C}_4\text{F}_8$ -Fluß wurden folgende Gasflüsse eingestellt: 40 sccm  $\text{SF}_6$ , 60 sccm  $\text{O}_2$ , 21 sccm 60  $\text{SiF}_4$ , 30–60, vorzugsweise 45 sccm  $\text{C}_4\text{F}_8$ . Dabei wurde  $\text{C}_4\text{F}_8$  periodisch alle 30–60 Sekunden, vorzugsweise alle 45 Sekunden einmal über eine Zeitspanne von 5 Sekunden zuge- 65

führt. Die ICP-Hochfrequenzleistung betrug dabei 800 W und die Substratleistung 12 W.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum anisotropen Plasmaätzen von lateral definierten Strukturen in einem Siliciumsubstrat, wobei vor und/oder während des Plasmaätzens auf den Seitenwänden der lateral definierten Strukturen Schutzschichten aus mindestens einer Siliciumverbindung abgeschieden werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliciumverbindung Siliciumoxid oder Siliciumnitrid oder Siliciumoxynitrid ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Siliciumoxidschicht oder Siliciumnitridschicht aus einer dem Ätzgas zugesetzten Siliciumverbindung und Sauerstoff und/oder Stickstoff als Reaktionspartner abgeschieden wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Ätzgas zugesetzte Siliciumverbindung zu diesem verträglich ist, das heißt nicht mit der Ätzchemie, wohl aber mit Sauerstoff und/oder Stickstoff reagiert.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Ätzgas zugesetzte Siliciumverbindung  $\text{SiF}_4$  ist.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Ätzgas  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  oder  $\text{N}_2$  zugesetzt wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Reaktionspartner  $\text{O}_2$  und/oder  $\text{N}_2$  zugesetzt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Reaktionspartner  $\text{O}_2$  und/oder  $\text{N}_2$  aus dem Ätzgas geliefert wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das zum Plasmaätzen eingesetzte Ätzgas ein fluorlieferndes Gas, vorzugsweise  $\text{SF}_6$  oder  $\text{NF}_3$ , ist.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Ätzgas  $\text{SiO}_2$ -verzehrende Gase, insbesondere  $\text{CHF}_3$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_3\text{F}_6$  oder  $\text{C}_4\text{F}_8$ , kontinuierlich zugesetzt werden.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das  $\text{SiO}_2$ -verzehrende Gas nur kurzzeitig und periodisch zugeführt wird, um während solcher Reinigungsschritte den Ätzgrund intensiv zu reinigen.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasmaätzen in voneinander getrennten Ätz- und Abscheideschritten durchgeführt wird, wobei der Ätzschritt alternierend mit dem Abscheideschritt durchgeführt wird.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Plasmaätzen unter gleichzeitiger Ioneinstrahlung durchgeführt wird, vorzugsweise mit einer Ionenenergie von 1 bis 100 eV, vorzugsweise von 30 bis 50 eV.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die für das Plasmaätzen eingesetzten Medien Gasflüsse von 10 bis 200 sccm und Prozeßdrücke von 1–50  $\mu\text{bar}$  (0,1–5 Pa) aufweisen.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Siliciumsubstrat während des Plasmaätzens gekühlt wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden An- sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmaer- zeugung durch Mikrowelleneinstrahlung beziehungs- weise Hochfrequenzeinstrahlung (HF) bei Leistungen von 500-2000 Watt erfolgt. 5

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden An- sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ionendichte, die Ionenergie und die Relation geladener (= Ionen) zu ungeladenen Teilchen (= Neutralspezies) unabhän- 10 gig voneinander geregelt wird.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden An- sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasfluß für Schwefelhexafluorid  $SF_6$  20-200 sccm beträgt.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden An- sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasfluß für 15 Siliciumtetrafluorid  $SiF_4$  10-50 sccm beträgt.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden An- sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasfluß für Sauerstoff  $O_2$  10-100 sccm beträgt.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden An- sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Gasfluß für 20 die  $SiO_2$ -verzehrenden Gase, insbesondere  $C_4F_8$ , 2-10 sccm beträgt.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden An- sprüche, dadurch gekennzeichnet, daß  $C_4F_8$  periodisch 25 alle 30 bis 60 Sekunden einmal über eine Zeitdauer von jeweils 5 Sekunden und mit einem Fluß von 30 bis 60 sccm eingelassen wird.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

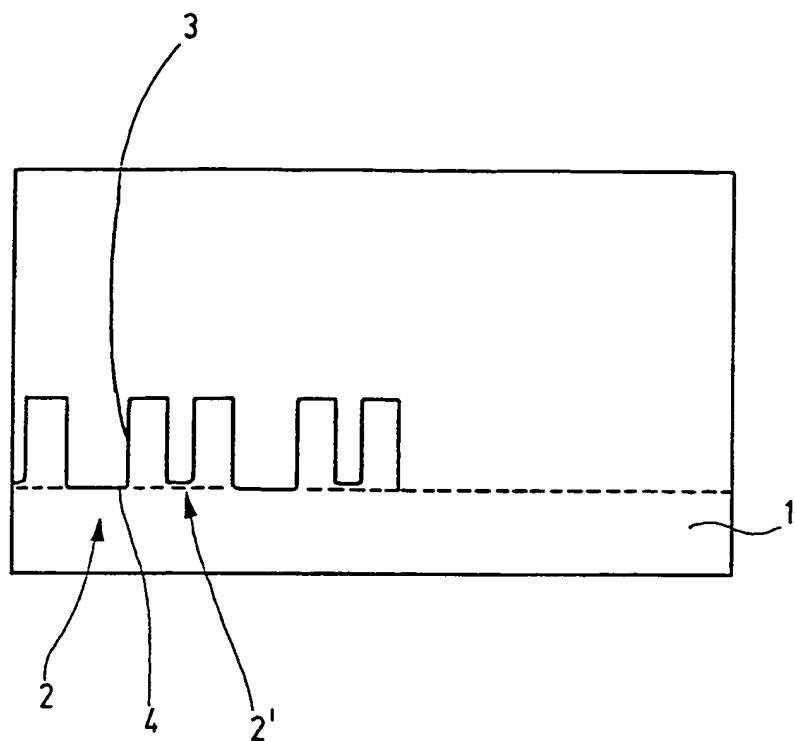


Fig. 1

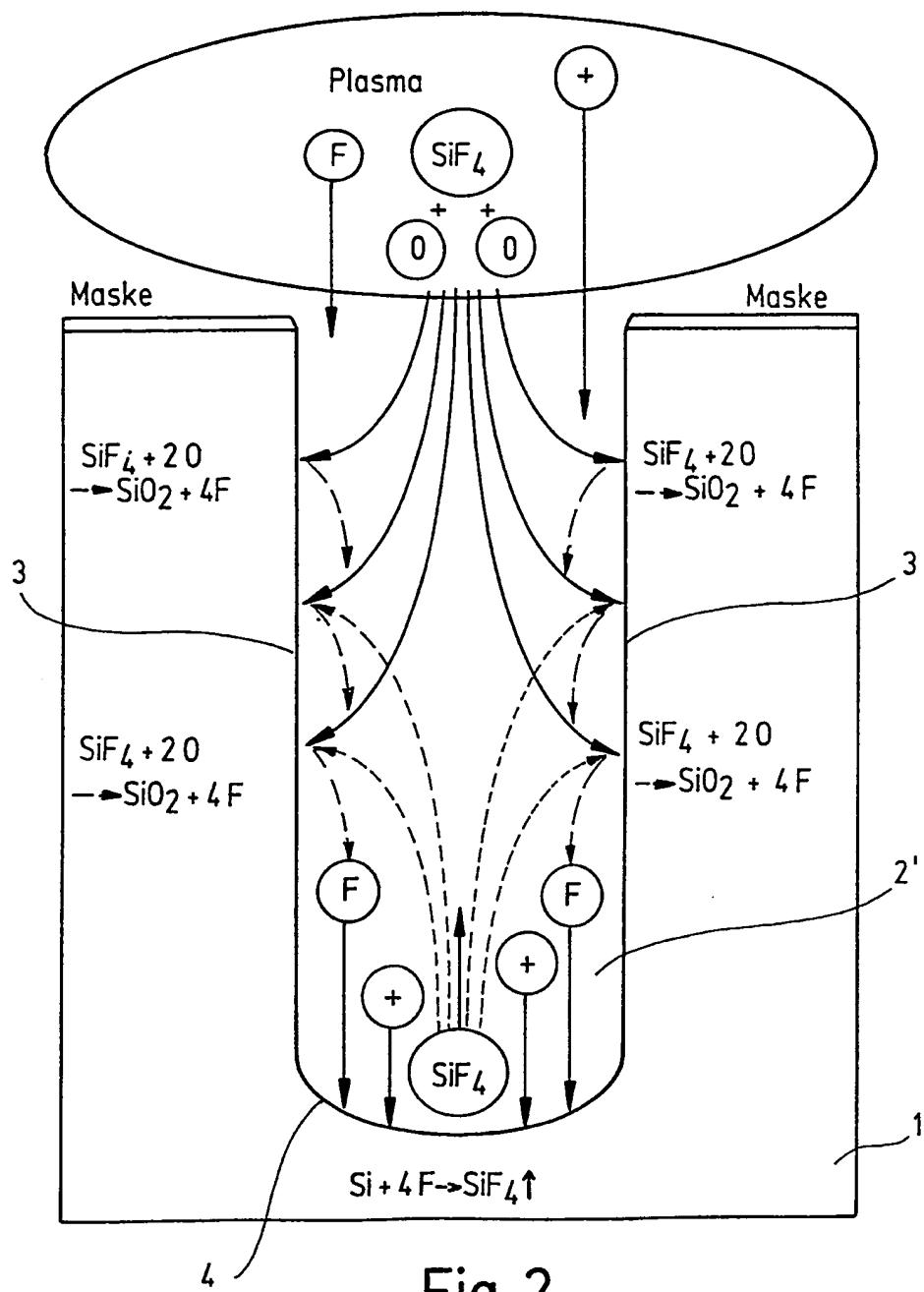


Fig. 2